

# Diversidad florística en sistemas tradicionales de acequias y relaciones con el suelo

A. I. Martínez Richart<sup>1</sup>, M. N. Jiménez<sup>2</sup>, E. Fernández Ondoño<sup>3</sup>, F. B. Navarro<sup>4,\*</sup>

(1) Unidad de Lista Roja. Programa de Especies, UICN. Pembroke St. Cambridge CB2 3QZ, Reino Unido.

(2) Dpto. de Botánica, Facultad de Farmacia, Universidad de Granada. Campus de Cartuja; s/n, 18071, Granada, España.

(3) Dpto. de Química Analítica. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada. Campus de Fuente Nueva, s/n, 18071, Granada, España.

(4) Área de Agricultura y Medio Ambiente. IFAPA (Junta de Andalucía). Camino de Purchil, s/n, 18004, Granada, España.

\* Autor de correspondencia: F.B. Navarro [[fbruno.navarro@juntadeandalucia.es](mailto:fbruno.navarro@juntadeandalucia.es)]

> Recibido el 15 de abril de 2019 - Aceptado el 28 de septiembre de 2019

**Martínez Richart, A.I., Jiménez, M.N., Fernández Ondoño, E., Navarro, F.B. 2019. Diversidad florística en sistemas tradicionales de acequias y relaciones con el suelo. *Ecosistemas* 28(3):81-91. Doi.: 10.7818/ECOS.1733**

Este estudio se propone como una primera caracterización de las propiedades edáficas y de la biodiversidad vegetal existente en los márgenes de las acequias de riego tradicionales (excavadas en la tierra) como indicadores de la riqueza de redes tróficas y provisión de servicios ecosistémicos. Para ello se muestrearon los suelos, agua y vegetación de seis sistemas diferentes de acequias de la provincia de Granada, España. En general, los suelos presentaron valores moderados-altos de materia orgánica, texturas franco-arenosas, alta capacidad de intercambio catiónico y pH básico. Hubo diferencias locales, dadas por los sustratos originales (concentraciones de carbonatos, arcillas y  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$  y  $K^+$ ) o las especies presentes (incorporación de materia orgánica y nitrógeno). El Análisis de Correspondencias Canónicas (ACC, CCA en inglés), indicó que las variables ambientales medidas explicaban un 39.2% de la variabilidad entre muestras, siendo la variable de mayor peso la concentración de carbonatos, y pudiendo estar gran parte del resto explicada por las diferencias de manejo entre otros factores no medidos, al ser estos sistemas medios altamente antropizados. La abundancia y riqueza de especies pareció beneficiarse por factores limitantes de la competencia, siendo el índice de diversidad inversamente proporcional a la concentración de carbonatos en el suelo. Se inventariaron diversas especies de importancia agro-económica y parientes silvestres de cultivos, que sumado a la generación de suelo y secuestro de carbono, hacen de estos sistemas elementos clave para el mantenimiento de las redes tróficas y la perdurabilidad de los sistemas agrarios.

**Palabras clave:** acequia; carbonato cálcico; manejo; regadío tradicional; riqueza de especies; sudeste España

**Martínez Richart, A.I., Jiménez, M.N., Fernández Ondoño, E., Navarro, F.B. 2019. Plant diversity in traditional irrigation channels and its relations with soil properties. *Ecosistemas* 28(3):81-91. Doi.: 10.7818/ECOS.1733**

This study is proposed as a first characterization of edaphic properties and plant biodiversity of *acequias* systems as indicators of trophic richness and provision of ecosystem services. Soils, water, and vegetation were sampled from six different traditional irrigation channels in the province of Granada, Spain. In general, the soils presented moderate-high values of organic matter, sandy-loam textures, high cation exchange capacity and basic pH. There were local differences, given by the original substrates (concentrations of carbonates, clay and  $Mg^{+2}$ ,  $Na^+$  and  $K^+$ ) or by the species present (organic matter and nitrogen). The canonical correspondence analysis (CCA), indicated that the measured variables explained 39.2% of the sample variability, the most important variable being the concentration of carbonates, as for the rest, most of it is thought to be explained by the differences in management. Species abundance and richness seemed to benefit from competition-limiting factors, with the diversity index being inversely proportional to carbonates. Several species of agro-economic importance and wild crop relatives were inventoried that in addition to the generation of soil and carbon sequestration denote the key role of the *acequias* for the maintenance of the trophic nets and the durability of the agrarian systems.

**Key words:** *acequia*; calcium carbonate; vegetation management; species richness; SE Spain

## Introducción

Hasta 1800 había menos de 1.000 millones de personas en todo el planeta. Sin embargo, desde 1950, la población mundial está aumentando en 1.000 millones cada 12-15 años (Naciones Unidas 2017). Con esta tasa de crecimiento poblacional, uno de los mayores retos de nuestra época es producir suficientes alimentos de calidad, sin comprometer la capacidad de suelos y océanos para las generaciones futuras. Aún después de repetidas advertencias sobre la rápida pérdida de biodiversidad debida a los actuales modelos de producción (e.g. Steffen et al. 2015) y la evidencia del papel clave de la biodiversidad en la seguridad alimentaria (Rocks-

tröm et al. 2017), los sistemas de producción a lo largo del mundo siguen convirtiéndose en menos diversos en términos de ecosistemas, especies y recursos genéticos (Macfadyen et al. 2015).

Algunas propuestas de aumento de productividad agrícola, como la intensificación ecológica, integran un uso inteligente de las funcionalidades naturales que el ecosistema ofrece (Tittonell 2014) y la protección de la diversidad y complejidad en los agrosistemas, como parte de una solución a largo plazo, clave para aumentar la resiliencia de los sistemas de producción frente a eventos adversos (Altieri y Nicholls 2013). Parte de los requisitos para lograr una intensificación ecológica efectiva, es la comprensión de las relaciones entre los usos del suelo a diferentes escalas, y la composición de

comunidades de organismos, la complejidad de las redes tróficas y la provisión de servicios ecosistémicos (Bommarco et al. 2013). Además, según Tompkins y Adger (2004) las estrategias agroecológicas que aumentan la resiliencia ecológica de los sistemas agrícolas son esenciales, pero no suficientes, y deben ir acompañadas de sociedades rurales capaces de amortiguar las perturbaciones con métodos agroecológicos adoptados y diseminados a través de la autoorganización y la acción colectiva.

Los sistemas tradicionales de acequias reúnen en su conjunto características de apoyo a la eficacia y perdurabilidad de los sistemas de producción agrícola pues: (1) aprovechan las características del terreno para la distribución del riego y la optimización de la producción sin coste energético, (2) son una red-refugio de “biodiversidad asociada” que conecta diferentes parcelas agrícolas, (3) y su modelo de gestión está integrado en la cultura local, transmitiéndose de generación en generación desde hace siglos.

Así pues, las acequias tradicionales son canales de riego gestionados de forma comunal, integrados en el agroecosistema, y diseñados de acuerdo al relieve del terreno de modo que distribuyen el agua por valles y vegas simplemente por gravedad. De probable origen romano y perfeccionadas por los musulmanes, esta tecnología se exportó desde el sur de España a otras zonas semiáridas de Latinoamérica y Estados Unidos (Raheem et al. 2015). Por sus características ya mencionadas, estos sistemas podrían categorizarse como infraestructura verde entendiendo como tal una “red estratégicamente planificada de zonas naturales y seminaturales de alta calidad con otros elementos medioambientales, diseñada y gestionada para proporcionar un amplio abanico de servicios ecosistémicos y proteger la biodiversidad tanto de los asentamientos rurales como urbanos” (Comisión Europea 2014).

Algunos servicios ecosistémicos reportados sobre las acequias tradicionales que conservan sus canales sin cementar ni entubar son: formación de paisaje, fomento del ecoturismo y la educación ambiental, funciones en ciclos de nutrientes, formación de suelo, extensión de la estación de irrigación, contribución a la seguridad alimentaria a nivel local (Fleming et al. 2014), cumplimiento de atribuciones hidrológicas riparias y agroecosistémicas similares a las proporcionadas por meandros y ríos serpenteantes (Fernald et al. 2007), ralentización del caudal de tormentas y control de inundaciones, retorno de flujos al río, recarga de capas freáticas superficiales y acuíferos (Guzmán et al. 2010), constitución de corredores biológicos (Peña 1999), y lugar de anidamiento y cría para aves (López-Pomares et al. 2015). Los sistemas de regadío histórico, que incluyen los sistemas de acequias y los terrenos productivos (vegas), constituyen por tanto sistemas agrícolas de alto valor na-

tural o *High Nature Value Farming* (EEA 2004 – de las siglas inglés *European Environmental Agency*, también llamada Agencia Europea de Medio Ambiente) en los que se compatibilizan las prácticas productivas con la conservación de la biodiversidad, el mantenimiento de las redes tróficas y los servicios que prestan.

De hecho, de acuerdo con el informe de 2019 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (también conocida por sus siglas en inglés FAO: *Food and Agriculture Organization of the United Nations*), la “biodiversidad asociada” es la parte de la biodiversidad que contribuye a respaldar la producción alimentaria y agrícola a través de los servicios que proporcionan las redes tróficas; por ejemplo mediante polinización, control de plagas, formación y mantenimiento de suelo, secuestro de carbono, purificación y regulación de abastecimientos de agua, reducción de amenazas y provisión de hábitat para otras especies beneficiosas. Las acequias tradicionales pueden, por tanto, considerarse como complejos de “biodiversidad asociada” a los sistemas alimentarios y agrícolas. Según el mismo informe (FAO 2019), es necesario mejorar el conocimiento sobre la biodiversidad asociada y el funcionamiento de las redes tróficas para detener el declive que sufre la biodiversidad para la alimentación y la agricultura.

Este estudio de la biodiversidad florística y sus relaciones con el suelo en diferentes sistemas de acequias tradicionales del SE ibérico, pretende contribuir a mejorar el conocimiento, y con ello posibilitar la conservación, de estos sistemas que parecen presentar un gran potencial agroecológico. La hipótesis de trabajo es que estos sistemas de regadío funcionan a modo de oasis de biodiversidad dentro de los sistemas agrarios que irrigan (vegas); y que esta diversidad está condicionada, además de por el manejo al que se somete el cauce, por las características del suelo y del agua que circula por ellos. Los objetivos del estudio son: (1) analizar la riqueza y diversidad florística en sistemas tradicionales de acequias, (2) la caracterización del agua y de los suelos en diferentes sistemas de acequias; (3) estudiar las relaciones entre abundancia; riqueza y diversidad con las características edáficas y otras variables ambientales o de manejo de las acequias.

## Material y métodos

### Área de estudio

El área de estudio se localiza en seis regadíos históricos de la provincia de Granada, España (Fig. 1): Nigüelas, Vega de Granada (en adelante Vega), Gójar, Jérez del Marquesado, Baños de Alicante y Galera. Algunas características de los mismos pueden observarse en la Tabla 1. Todos se hallan en la región de clima mediterráneo

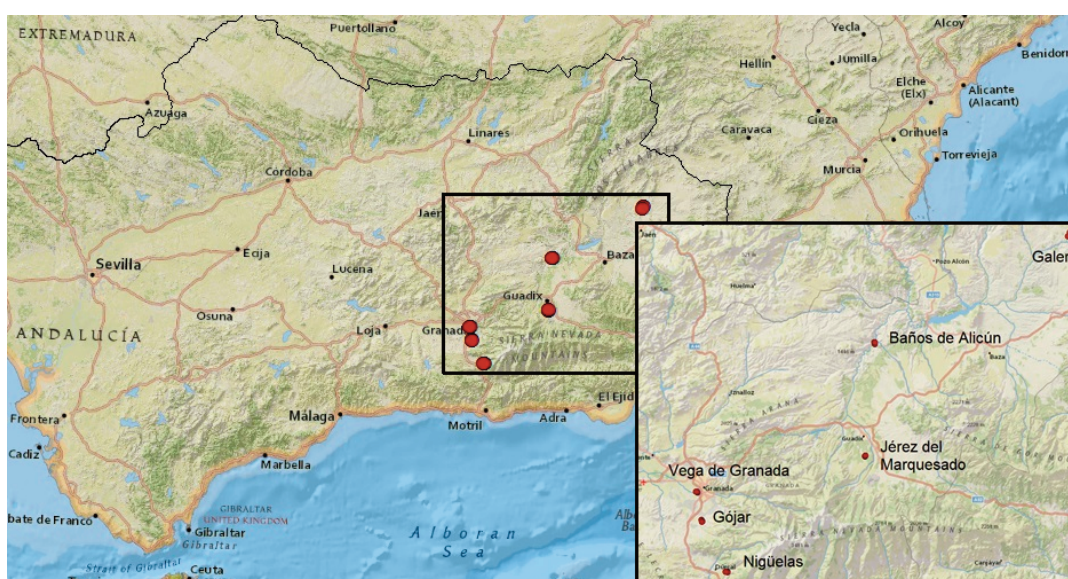


Figura 1. Localización geográfica de las áreas de estudio en la provincia de Granada, Andalucía (España).

Figure 1. Geographic location of the study areas in the Granada province, Andalusia (Spain).

**Tabla 1.** Descripción inicial de las localidades de estudio mediante datos climáticos, sustrato (REDIAM 2015), de situación y manejo. El índice de humedad es un indicador expresivo de las relaciones existentes entre la precipitación o aporte de agua y la evapotranspiración potencial, como expresión de la demanda de agua ejercida por el medio. El número de días de heladas es la media anual de días con temperaturas inferiores a 0°C; los días cálidos superiores a 25°C. Las medias de temperatura y precipitación se obtuvieron con las medias de las series temporales de 1992-2004 (temperatura) y 1961-2009 (precipitación).

**Table 1.** Initial description of the localities through their climate and substrate data (REDIAM 2015), and location and management information. The air humidity indicator shows the relationships between rainfall or water supply and potential evapotranspiration, as an expression of the water demand exerted by the environment. The number of days of frost is the annual average of days with temperatures below 0°C; warm days above 25°C. The averages of temperature and rainfall were obtained with the averages of the time series of 1992-2004 (temperature) and 1961-2009 (rainfall).

	Localidad					
	Nigüelas	Vega	Gójar	Alicún	Jérez	Galera
<b>Zona geográfica</b>	Sierra Nevada	Vega de Granada	Vega de Granada	Hoyas de Guadix y Baza	Hoyas de Guadix y Baza	Hoyas de Guadix y Baza
<b>Altitud msnm</b>	960	645	805	695	1085	860
<b>Coordenadas UTM (Huso 30 S)</b>	36° 58' 55.2" N 003° 31' 57.5" W	37° 10' 03.3" N 003° 37' 21.3" W	37° 06' 08.5" N 003° 36' 31.6" W	37° 30' 54.0" N 003° 06' 27.9" W	37° 15' 06.6" N 003° 08' 04.4" W	37° 46' 05.3" N 002° 32' 09.5" W
<b>Índice de humedad</b>	0.6-0.8	0.4-0.6	0.4-0.6	0.2-0.4	0.4-0.6	0.2-0.4
<b>Días heladas</b>	20-39	40-59	40-59	40-59	≥60	40-59
<b>Días cálidos</b>	120-149	120-149	120-149	120-149	0-89	90-119
<b>Tª media</b>	14.69	15.77	15.78	15.07	14.47	14.88
<b>Precipitación mm</b>	476.87	396.73	429.63	333.82	319.32	328.37
<b>Unidades cartográficas del suelo</b>	Litosoles; Luvisoles crómicos y Rendsinas con Cambisoles cálcicos	Fluvisoles y regosoles calcáreos; Cambisoles y luvisoles cálcicos	Fluvisoles calcáreos	Fluvisoles y regosol calcáreos	Regosol eútrico	Fluvisoles calcáreos
<b>Situación/ Manejo acequia</b>	Sin manejo conocido; junto a sendero	Manejo fuerte; cultivos de producción intensiva y camino	Manejo ligero; olivar ecológico	Sin manejo conocido; manantial y olivar	Sin manejo conocido; cultivos	Manejo fuerte; con quemas; cultivos y camino

subárido. Edafológicamente se sitúan sobre fluvisoles calcáreos, es decir, suelos de baja evolución conformados por materiales aportados por el río de forma periódica (FAO 1998), con algunas diferencias, por ejemplo, Nigüelas se ubica sobre materiales dolomíticos, de fragmentación lenta que generan perfiles escasos, poco profundos. En Alicún y Jérez, el suelo es de muy baja evolución, originado sobre materiales sueltos (regosoles). En el caso concreto de Jérez los suelos son oligotróficos y con carácter ácido-neutro (Tabla 1).

### Análisis de suelo y agua

Los muestreos de suelo y agua se realizaron entre Enero y Marzo de 2015. Se tomaron tres muestras de suelo y una muestra de agua por localidad, seleccionadas parcialmente al azar a lo largo del sistema de acequias. Se extrajeron muestras de suelo de alrededor de 1500 g, desde la superficie hasta una profundidad de 20 cm. Cada una de las muestras de suelo se sometió a un proceso de secado a temperatura ambiente, posteriormente fueron molidas y tamizadas. Para los análisis se utilizó la fracción fina de suelo (<2 mm), el resto de la muestra que superó este tamaño se registró como porcentaje de gravas. Parte de la fracción menor de 2 mm se molió finamente para realizar algunas de las pruebas de laboratorio. El carbonato cálcico, medido como CaCO<sub>3</sub> equivalente (%CaCO<sub>3</sub>), se analizó siguiendo el método de Bascomb (1961). El carbono inorgánico se midió según Tyurin (1951). El porcentaje de nitrógeno total se determinó con un analizador elemental LECO Truspec®. La determinación de la textura, el agua útil, el pH, los cationes intercambiables (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>) y la capacidad de intercambio catiónico (CIC) se obtuvieron siguiendo la metodología del Soil Conservation Service (1972). El porcentaje de agua útil (%AU) se calculó como la diferencia entre el porcentaje de capacidad de campo (%CC) y el del punto de marchitamiento (%PM).

El pH, la conductividad eléctrica y la concentración de bases y aniones de las muestras de agua, se determinaron también con la metodología del Soil Conservation Service (1972). La concentración de iones solubles del agua (meq/l), tanto cloruro, clorato, fosfato y sulfato, se midió empleando cromatografía líquida en un equipo Dionex DS120®. Todos los análisis de suelo y agua se realizaron en el Departamento de Edafología de la Universidad de Granada, España.

### Análisis de la vegetación

En junio de 2015 se realizaron tres transectos lineales en cada localidad, en los mismos puntos en que se tomaron las muestras de suelo (Fig. 2). La longitud de los transectos (20 m) se delimitó con una cinta métrica extendida sobre la vegetación en uno de los márgenes internos de la acequia. Se realizaron 40 observaciones de la flora en cada transecto (cada 0.5 m), para las que se empleó la técnica del "point quadrat" (Chalmers y Parker 1989; Bullock 2006). Las especies se identificaron con la Flora Vasculosa de Andalucía Oriental (Blanca et al. 2009) y se categorizaron en grupos funcionales siguiendo las definiciones de Raunkiaer (1934). Se estimó el porcentaje de cobertura vegetal, la abundancia de especies (nº de individuos de cada especie por transecto), abundancia total (nº total de individuos), riqueza de especies (número total de especies por transecto) e índice de diversidad de especies, calculada como el índice de Shannon-Weaver:  $H' = -\sum p_i \log_2 p_i$  (Magurran 1988). También se calculó la abundancia y riqueza de grupos funcionales.

### Análisis estadístico

Se realizaron análisis univariantes y correlaciones para detectar posibles diferencias significativas entre sistemas de regadío para cada una de las variables ambientales (temperatura, precipitación media, etc.), variables de caracterización del suelo y agua, y varia-



**Figura 2.** Acequias de Nigüelas, Vega de Granada, Gójar, Jérez del Marquesado, Alicún y Galera (de izquierda a derecha y de arriba abajo). Imagen de Galera de marzo 2015, después de las quemadas para reducir la cantidad de vegetación en la acequia. En junio de 2015, cuando se realizó el muestreo de vegetación, la cobertura vegetal era de nuevo del 100%.

**Figure 2.** Sampled acequias of Nigüelas, Vega de Granada, Gójar, Jérez del Marquesado, Alicún and Galera (left to right and top to bottom). Galera's picture was taken in March 2015, after burn done in order to reduce the amount of vegetation in the acequia. In June 2015, when the vegetation sampling was done, the vegetation cover was again 100%.

bles biológicas obtenidas de los muestreos de flora. Además, se llevaron a cabo análisis multivariantes de ordenación con las variables biológicas: Análisis Canónico de Correspondencias, también llamado CCA del inglés *Canonical Correspondence Analysis*, y Análisis de Redundancia, o RDA (*Redundancy Analysis*). El CCA se empleó para ver de forma espacial la similitud entre especies y localidades y la influencia de las variables edáficas y climáticas. El RDA se empleó para realizar el mismo análisis con grupos funcionales, en lugar de con especies. Para la creación y edición de las gráficas de análisis multivariante se utilizó el programa CANOCO para Windows 4.5® (*Microcomputer Power*, Ithaca, Nueva York, Estados Unidos) y se siguieron las recomendaciones propuestas por Lepš y Šmilauer (2003).

## Resultados

### Caracterización físico-química del suelo

Los resultados principales se resumen en la **Tabla 2**. No hubo diferencias significativas de pH entre los sistemas de riego estudiados, hallándose valores de pH ligeramente básico (7.0-8.0), o moderadamente básico (superando 8.0), a excepción de una de las muestras de Jérez donde fue ligeramente ácido (inferior a 7.0). Los porcentajes de materia orgánica (%MO) fueron intermedios (1.7-4.25%) o altos (superiores a 4.25%). La localidad con la media de %MO más destacable fue Gójar. Este valor sería significativamente diferente de los de la Vega y Galera, si se excluyeran del análisis los valores de Nigüelas, por la alta dispersión de los datos en esta localidad, donde se halló un valor de %MO excepcionalmente bajo (1.62%) en el punto de muestreo más cercano a la ca-

becera de la acequia. El %CaCO<sub>3</sub> mostró diferencias significativas entre Alicún y Jérez ( $p=0.015$ ); igualmente en Nigüelas hubo gran dispersión de valores para este parámetro, con un valor muy alto a la mayor distancia de la cabecera (72.58%). Para la relación carbono:nitrógeno (C:N), el resultado de Gójar fue 10 unidades superior a los de Alicún y Galera ( $p=0.004$ ). En Alicún se obtuvieron los valores más dispersos en los porcentajes de nitrógeno (N) en el suelo (0.52%, 0.21% y 0.34%).

Todas las muestras estuvieron saturadas en bases. La suma de bases resultó superior a la medida directa de la CIC en todas las muestras (excepto en el segundo punto de muestreo de Jérez). No hubo diferencias significativas entre localidades en Ca<sup>+2</sup> ni CIC. Las muestras de Galera presentaron valores muy altos de Mg<sup>+2</sup>, Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>. Hubo diferencias significativas de Na<sup>+</sup> entre Galera y Gójar, de K<sup>+</sup> entre Galera y la Vega, y de Mg<sup>+2</sup> entre Galera y todas las localidades excepto Nigüelas.

La mayoría de las muestras presentaron textura franco-arenosa (**Tabla 2**). Los suelos de Galera presentaron un %AU muy alto (**Tabla 2**), y se diferenciaron significativamente de todas las localidades (excepto de Gójar). Galera fue la localidad con mayor %CC, también se diferenció significativamente en el %PM, más elevado que Nigüelas y la Vega.

### Análisis del agua

No se hallaron diferencias significativas para los iones disueltos, el pH (en torno a 7.7) y la conductividad eléctrica (CE). El calcio y el sulfato fueron los iones más comunes. El agua de Alicún, que proviene de un manantial termal, destacó por las mayores concentraciones de iones, seguida de Galera. En estas dos localidades los valores de CE fueron mucho más elevados que en el resto (**Tabla 2**).

### Análisis de la vegetación

Se identificaron 100 especies vegetales diferentes (**Tabla 3**). Hubo una especie predominante en cada localidad, que fue de la familia de las gramíneas (*Piptatherum miliaceum* en Jérez, y *Brachypodium phoenicoides* en Alicún y Gójar) o de las apiáceas (*Peucedanum hispanicum* en Nigüelas, y *Apium nodiflorum* en la Vega y Galera). La cobertura vegetal fue prácticamente del 100% en todos los transectos (**Tabla 2**). La localidad con mayor abundancia total de individuos fue Galera, seguida de la Vega. Jérez tuvo el mayor índice de diversidad, mientras que los valores más bajos de estas variables se dieron en Nigüelas y Alicún. Las diferencias significativas se dieron en la riqueza de especies (**Tabla 2**): por un lado, Jérez con mayor riqueza que Alicún y Nigüelas, por otro, Nigüelas con el valor más bajo se diferenció significativamente de la Vega y Jérez. El grupo funcional predominante en todas las localidades fue el hemicriptofítico, excepto en Jérez donde la abundancia y riqueza de terófitos fue mayor, diferenciándose significativamente de Nigüelas en estos parámetros.

Finalmente, se realizaron pruebas de correlación con todas las variables bióticas y abióticas obtenidas, hallándose una correlación significativa, inversamente proporcional entre el contenido de CaCO<sub>3</sub> y el índice de diversidad de especies vegetales.

### Análisis de ordenación

Los valores de los ejes del CCA (**Fig. 3**) fueron de 0.644, 0.547, 0.416 y 0.383 para un valor total de la varianza de 5.068. El porcentaje que explican es respectivamente el 12.6%, 10.8%, 8.2% y 7.6%. Los valores de correlación de estos ejes con las variables ambientales medidas son de  $r=0.983$ ,  $r=0.942$ ,  $r=0.939$ ,  $r=0.961$ . Las variables más explicativas de esta varianza de forma individual, tal y como aparecen en los efectos marginales son: carbonatos ( $\lambda_1=0.55$ ), carbono inorgánico ( $\lambda_1=0.55$ ), carbono total ( $\lambda_1=0.52$ ), precipitación ( $\lambda_1=0.49$ ), temperatura media anual ( $\lambda_1=0.47$ ), Mg<sup>+2</sup> ( $\lambda_1=0.43$ ) y %PM ( $\lambda_1=0.40$ ). Si por el contrario se tienen en cuenta los efectos condicionales (efectos que explican la varianza no explicada por el resto de variables), éstas fueron, en orden de impor-

**Tabla 2.** Resultados del análisis del suelo (medias  $\pm$  desviación estándar) y resultados de los inventarios de flora. Diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre las localidades se indican con las letras en superíndice. Leyenda de clases texturales empleadas: Arenosa-Franca (AF); Franca (F); Franco-Arenosa (FA); Franco-Limosa (F-L); Franco-Arcillo-Limosa (FCL); Franco-Arcillosa (FC). H=Hemicriptófito; T= Terófito. La leyenda de las abreviaturas de las especies listadas se incluye en la **Tabla 3**.

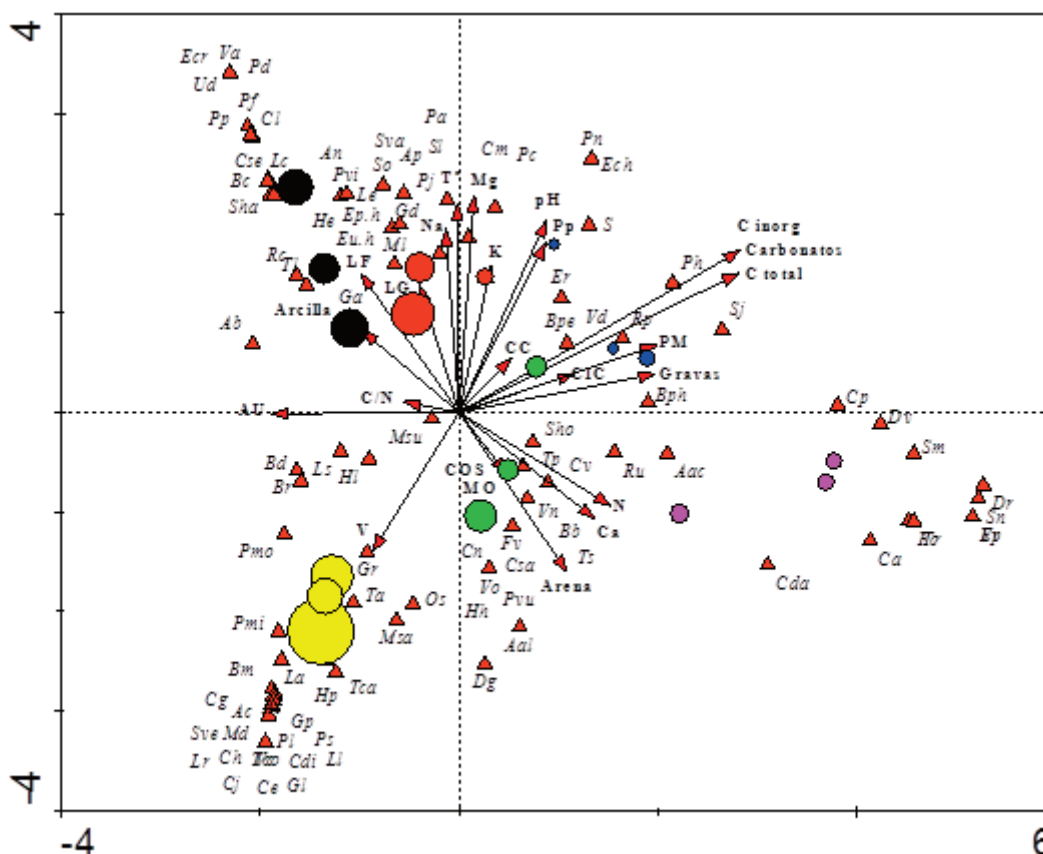
**Table 2.** Soil results (means  $\pm$  standard deviation) and flora results. Statistically significant differences ( $p < 0.05$ ) between localities are indicated by the superscript letters. Textural class legend: Sandy-loamy (AF); Loamy (F); Loamy-sandy (FA); Loamy-silty (F-L); Loamy-clayed-silty (FCL); Loamy-clayed (FC). H=Hemicryptophytes; Th=Therophytes. The legend of the listed species abbreviations is included in **Table 3**.

	Localidad					
	Nigüelas	Vega	Gójar	Alicún	Jérez	Galera
<b>pH del suelo</b>	7.82 $\pm$ 0.32	7.95 $\pm$ 0.97	8.01 $\pm$ 0.20	7.76 $\pm$ 0.12	7.03 $\pm$ 0.81	7.93 $\pm$ 0.56
<b>% CaCO<sub>3</sub> del suelo</b>	17.28 $\pm$ 32.96	26.62 $\pm$ 0.47	30.01 $\pm$ 2.07	70.53 <sup>a</sup> $\pm$ 7.19	5.19 <sup>b</sup> $\pm$ 0.59	57.16 $\pm$ 1.68
<b>% Nitrógeno del suelo</b>	0.18 $\pm$ 0.04	0.15 $\pm$ 0.06	0.19 $\pm$ 0.02	0.31 $\pm$ 0.15	0.20 $\pm$ 0.12	0.22 $\pm$ 0.08
<b>% MO del suelo</b>	2.77 $\pm$ 2.61	3.23 $\pm$ 0.77	5.43 $\pm$ 0.76	3.92 $\pm$ 0.73	3.31 $\pm$ 1.70	2.68 $\pm$ 1.20
<b>C:N del suelo</b>	9.48 $\pm$ 5.39	11.58 $\pm$ 1.84	16.49 <sup>a</sup> $\pm$ 2.50	6.36 <sup>b</sup> $\pm$ 4.50	8.82 $\pm$ 1.73	6.94 <sup>b</sup> $\pm$ 1.23
<b>CIC del suelo Cmol (+)/Kg</b>	9.83 $\pm$ 3.75	8.95 $\pm$ 2.28	12.09 $\pm$ 4.06	13.76 $\pm$ 5.44	10.28 $\pm$ 4.05	17.17 $\pm$ 3.66
<b>% Agua útil del suelo</b>	11.17 $\pm$ 2.89	11.06 $\pm$ 3.37	11.98 $\pm$ 1.28	4.73 <sup>a</sup> $\pm$ 2.60	12.02 $\pm$ 4.74	12.17 <sup>b</sup> $\pm$ 0.63
<b>Textura del suelo (punto muestreo)</b>	Franca Arenosa (FA-FA-F)	Franca Arenosa (FA-FL-FA)	Franca (F-F-F)	Franca Arenosa (FA-AF-FA)	Franca Arenosa (FA-FA-F)	Franco Arcillosa (FCL-FC-FC)
<b>CE del agua (ds/m)</b>	0.13	0.18	0.10	1.33	0.06	0.85
<b>% Cobertura vegetal</b>	93.3	100	100	100	100	100
<b>Abundancia total de spp.</b>	207	279	225	212	267	297
<b>Riqueza de spp.</b>	17 <sup>a</sup>	28 <sup>b</sup>	27	18	38 <sup>b</sup>	27
<b>Índice de diversidad</b>	2.29 $\pm$ 0.12	2.98 $\pm$ 0.50	2.67 $\pm$ 0.59	2.26 $\pm$ 0.44	3.38 $\pm$ 0.74	3.01 $\pm$ 0.26
<b>Especie más abundante</b>	<i>Peucedanum hispanicum</i>	<i>Apium nodiflorum</i>	<i>Brachypodium phoenicoides</i>	<i>Brachypodium phoenicoides</i>	<i>Piptatherum miliaceum</i>	<i>Apium nodiflorum</i>
<b>Familia de la especie más abundante</b>	Apiaceae	Apiaceae	Gramineae	Gramineae	Gramineae	Apiaceae
<b>Especies listadas en cada localidad (leyenda en <a href="#">Tabla 3</a>)</b>	Bph, Cp, Cv, Dv, Ep.h, Er, Ech, Msu, Pj, Ph, Pn, Rp, S, Sho, Sl, Sm, Sj	An, Ab, Bc, Bd, Br, Cse, Cl, Ecr, Ep.h, Ga, Hl, Lc, Msu, Pj, Pd, Pmi, Pp, Pmo Pvi, Pf, Ru, Rc, Sl, So, Sha, Tl, Ud, Va	Aac, Bb, Bpe, Bph, Cn, Csa, Cv, Er, Fv, Hh, Hl, Hp, Msa, Msu, Os, Pj, Pvu, Rp, Ru, Sl, Ts, Ta, Tca, Tp, Vo, Vd, Vn	Aal, Aac, Bph, Ca, Cp, Cda, Dg, Dv, Dr, Ep, Fc, Gr, Ru, Sn, Sho, Sm, Tr, Vv	Ai, Aal, Ac, Ab, Bd, Bm, Br, Cdi, Ch, Cg, Cj, Ce, Dg, Ga, Gp, Gl, Gr, Hl, Hp, Ls, La, Ll, Lr, Msa, Msu, Md, Os, Pmi, Pl, Ps, Pmo, Rc, Sve, Sho, Ta, Tco, Tca, Vc	An, Ap, Bph, Bd, Br, Cm, Ep.h, Er, Eu.h, Ga, Gd, Gr, He, Ls, Le, Ml, Msu, Pj, Pa, Pvi, Pc, Rc, S, Sva, Sho, Sl, So
<b>Grupo funcional predominante</b>	H	H	H	H	Th	H

**Tabla 3.** Inventario de taxones identificados en los muestreos de vegetación. Se incluyen las abreviaturas utilizadas en el Diagrama de ordenación CCA (Fig. 2), y el grupo funcional en el cual se han clasificado. Leyenda del grupo funcional: Terófitos (Th), Geófitos (G), Hemicriptófitos (H), Caméfitos (Ch), Macrofanerófitos (MP), Nanofanerófitos (NP), Hidrófitos (Hyd), Helófitos (Hel).

**Table 3.** List of taxa found in at least one of the six sampled localities. Abbreviations used in the CCA diagram (Fig. 2) are included, also the functional group in which they have been classified. Functional group legend: Therophytes (Th), Geophytes (G), Hemipterophytes (H), Chamaephytes (Ch), Macrophanerophytes (MP), Nanophanerophytes (NP), Hydrophytes (Hyd), Helophytes (Hel).

Especie (subespecie o variedad)	Abrev.	Grupo funcional	Especie (subespecie o variedad)	Abrev.	Grupo funcional
<i>Andryala integrifolia</i> L.	Ai	H.	<i>Lavatera cretica</i> L.	Lc	Th.
<i>Apium nodiflorum</i> (L.) Lag.	An	Hyd.	<i>Leontodon longirostris</i> (Finch & P.D.Sell) Talavera	Li	Th.
<i>Arrhenatherum album</i> (Vahl) Clayton	Aal	H.	<i>Lolium rigidum</i> Gaudin	Lr	Th.
<i>Artemisia campestris</i> L. subsp. <i>glutinosa</i> (Besser) Batt.	Ac	Ch.	<i>Lycopus europaeus</i> L.	Le	H.
<i>Asparagus acutifolius</i> L.	Aac	NP.	<i>Mantisalca salmantica</i> (L.) Briq. & Cavill.	Msa	H.
<i>Atriplex prostrata</i> DC.	Ap	Th.	<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds.	Ml	H.
<i>Avena barbata</i> Link	Ab	Th.	<i>Mentha suaveolens</i> Ehrh.	Msu	H.
<i>Bituminaria bituminosa</i> (L.) C.H.Stirt.	Bb	H.	<i>Myosotis discolor</i> Pers.	Md	Th.
<i>Blackstonia perfoliata</i> (L.) Huds.	Bpe	Th.	<i>Ononis spinosa</i> L.	Os	Ch.
<i>Brachypodium phoenicoides</i> (L.) Roem. & Schult.	Bph	H.	<i>Parietaria judaica</i> L.	Pj	Ch.
<i>Bromus catharticus</i> Vahl	Bc	H.	<i>Paspalum distichum</i> L.	Pd	H.
<i>Bromus diandrus</i> Roth	Bd	Th.	<i>Peucedanum hispanicum</i> (Boiss.) Endl.	Ph	H.
<i>Bromus madritensis</i> L. subsp. <i>madritensis</i>	Bm	Th.	<i>Phragmites australis</i> (Cav.) Steud. subsp. <i>australis</i>	Pa	Hel.
<i>Bromus rigidus</i> Roth	Br	Th.	<i>Piptatherum miliaceum</i> (L.) Coss.	Pmi	H.
<i>Calamintha nepeta</i> (L.) Savi subsp. <i>nepeta</i>	Cn	H.	<i>Plantago lanceolata</i> L.	Pl	H.
<i>Calystegia sepium</i> (L.) R.Br. subsp. <i>sepium</i>	Cse	G.	<i>Polygonum persicaria</i> L.	Pp	Th.
<i>Carex divisa</i> Huds.	Cdi	H.	<i>Polygonum salicifolium</i> Willd.	Ps	H.
<i>Carlina hispanica</i> Lam.	Ch	H.	<i>Polypogon monspeliensis</i> (L.) Desf.	Pmo	Th.
<i>Centaurea aspera</i> L.	Ca	H.	<i>Polypogon viridis</i> (Govan) Breistr.	Pvi	H.
<i>Cerastium glomeratum</i> Thuill.	Cg	Th.	<i>Populus nigra</i> L.	Pn	MP.
<i>Chondrilla juncea</i> L.	Cj	H.	<i>Prunella vulgaris</i> L.	Pvu	H.
<i>Cirsium monspessulanum</i> (L.) Hill subsp. <i>ferox</i> (Coss.) Talavera	Cm	H.	<i>Puccinellia caespitosa</i> G.Montserrat & J.M.Montserrat	Pc	H.
<i>Cirsium pyrenaicum</i> (Jacq.) All.	Cp	H.	<i>Puccinellia fasciculata</i> (Torr.) E.P.Bicknell	Pf	H.
<i>Cornus sanguinea</i> L. subsp. <i>sanguinea</i>	Csa	NP.	<i>Rubia peregrina</i> L.	Rp	MP.
<i>Crepis vesicaria</i> L.	Cv	H.	<i>Rubus ulmifolius</i> Schott	Ru	NP.
<i>Cynodon dactylon</i> (L.) Pers.	Cda	H.	<i>Rumex conglomeratus</i> Murray	Rc	H.
<i>Cynosurus echinatus</i> L.	Ce	Th.	<i>Salix</i> sp. L.	S	MP.
<i>Cyperus longus</i> L.	Cl	G.	<i>Samolus valerandi</i> L.	Sva	H.
<i>Dactylis glomerata</i> L.	Dg	H.	<i>Sanguisorba verrucosa</i> (G.Don) Ces.	Sve	H.
<i>Dittrichia viscosa</i> (L.) Greuter	Dv	NP.	<i>Schoenus nigricans</i> L.	Sn	H.
<i>Dorycnium rectum</i> (L.) Ser.	Dr	H.	<i>Scirpoides holoschoenus</i> (L.) Soják	Sho	H.
<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) P.Beauv.	Ecr	Th.	<i>Scrophularia lyrata</i> Willd.	Sl	H.
<i>Elymus pungens</i> (Pers.) Melderis	Ep	H.	<i>Sonchus maritimus</i> L.	Sm	H.
<i>Epilobium hirsutum</i> L.	Ep.h	H.	<i>Sonchus oleraceus</i> L.	So	Th.
<i>Equisetum ramosissimum</i> Desf.	Er	H.	<i>Sorghum halepense</i> (L.) Pers.	Sha	H.
<i>Euphorbia characias</i> L. subsp. <i>characias</i>	Ech	Ch.	<i>Spartium junceum</i> L.	Sj	NP.
<i>Euphorbia hirsuta</i> L.	Eu.h	H.	<i>Thalictrum speciosissimum</i> (L.) Loeffl.	Ts	H.
<i>Ficus carica</i> L.	Fc	MP.	<i>Torilis arvensis</i> (Huds.) Link	Ta	Th.
<i>Foeniculum vulgare</i> Mill.	Fv	H.	<i>Torilis leptophylla</i> (L.) Rchb.f.	Tl	Th.
<i>Galium aparine</i> L.	Ga	Th.	<i>Tragopogon crocifolius</i> L.	Tco	Th.
<i>Galium parisiense</i> L.	Gp	Th.	<i>Trifolium campestre</i> Schreb.	Tca	Th.
<i>Geranium dissectum</i> L.	Gd	Th.	<i>Trifolium pratense</i> L.	Tp	H.
<i>Geranium lucidum</i> L.	Gl	Th.	<i>Trifolium ravennae</i> (L.) H.Scholz	Tr	H.
<i>Geranium rotundifolium</i> L.	Gr	Th.	<i>Urtica dioica</i> L.	Ud	H.
<i>Hedera helix</i> L.	Hh	MP.	<i>Verbena officinalis</i> L.	Vo	H.
<i>Helminthotheca echioides</i> (L.) Holub	He	H.	<i>Veronica anagallis-aquatica</i> L. subsp. <i>anagallis-aquatica</i>	Va	Hel.
<i>Holcus lanatus</i> L.	Hl	H.	<i>Vicia dasycarpa</i> Ten.	Vd	Th.
<i>Hypericum perforatum</i> L.	Hp	H.	<i>Vincetoxicum nigrum</i> (L.) Moench	Vn	H.
<i>Lactuca serriola</i> L.	Ls	Th.	<i>Vitis vinifera</i> L.	Vv	MP.
<i>Lathyrus angulatus</i> L.	La	Th.	<i>Vulpia ciliata</i> Dumort. subsp. <i>ciliata</i>	Vc	Th.



**Figura 3.** Diagrama de ordenación del análisis de correspondencias canónicas (CCA) mostrando especies, localidades y variables ambientales. Los círculos representan las localidades y el tamaño del círculo es proporcional a la riqueza de especies en cada punto de muestreo (transecto): Nigüelas (azul), Vega (negro), Gójar (verde), Jerez (amarillo), Alicún (rosa) y Galera (rojo). Se incluyen todas las variables ambientales (flechas) aunque solo algunas fueron significativas (ver apartado de resultados). La longitud de la flecha es proporcional a la contribución de la variable en la ordenación: agua útil (AU); capacidad de campo (CC); punto de marchitamiento (PM); arena, arcilla, limo fino (LF); limo grueso (LG); gravas; carbono inorgánico (C inorg); carbono total (C total); carbono orgánico (COS); materia orgánica (MO); relación C/N (C/N); suma de bases (V); pH del suelo (pH); CIC; Ca; Mg; Na; K; temperatura ( $T^a$ ) y precipitación (Pp). Las especies se muestran como triángulos, sus abreviaturas se incluyen en la [Tabla 3](#).

**Figure 3.** Ordination diagram of the canonical correspondence analysis (CCA) showing species, localities and environmental variables. Circles represent localities, the size of the circle is proportional to the richness of species at each sampling point: Nigüelas (blue), Vega (black), Gójar (green), Jerez (yellow), Alicún (pink) and Galera (red). All environmental variables are included (arrows), although only some were significant (see result section). The length of the arrow is proportional to the contribution of the variable in the order: available water (AU); field capacity (CC); wilting point (PM); sand (Arena), clay (Arcilla), fine silt (LF); thick silt (LG); gravels (Gravas); inorganic carbon (C inorg); total carbon (total C); organic carbon (COS); organic matter (MO); C/N ratio (C/N); soil pH (pH); exchangeable cations sum (V); cations exchange capacity (CIC); Ca; Mg; Na; K; temperature ( $T^a$ ) and rainfall (Pp). The species are shown as triangles, their abbreviations are included in [Table 3](#).

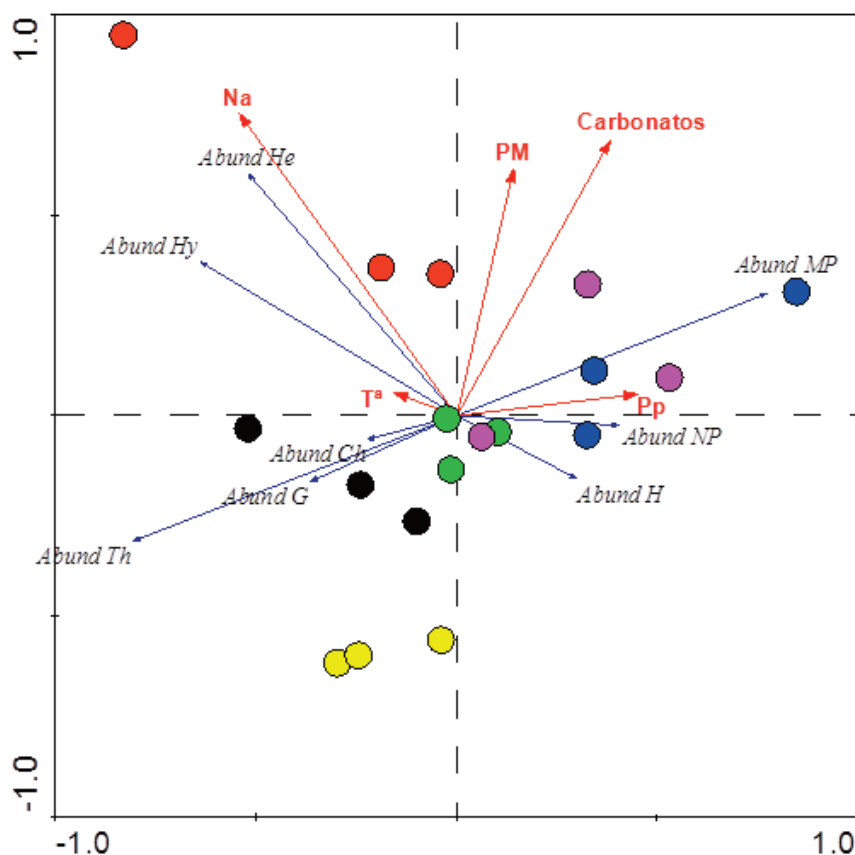
tancia: carbonatos ( $\lambda A=0.55$ ;  $F=1.96$ ;  $p=0.002$ ), precipitación ( $\lambda A=0.51$ ;  $F=1.89$ ;  $p=0.002$ ),  $Mg^{+2}$  ( $\lambda A=0.46$ ;  $F=1.80$ ;  $p=0.004$ ) y temperatura media anual ( $\lambda A=0.47$ ;  $F=2.00$ ;  $p=0.002$ ). El porcentaje de variabilidad de la composición de las comunidades que pudo ser explicado con todas las variables ambientales disponible es un 39.2%. Al realizar el test de Monte Carlo, el valor del primer eje ( $F=1.892$ ,  $p=0.002$ ) y el del total de ejes canónicos ( $F=2.101$ ,  $p=0.002$ ) fueron significativos, indicando que las variables ambientales utilizadas explican estadísticamente los cambios en la abundancia y composición de especies entre localidades de forma significativa.

En el RDA ([Fig. 4](#)), se obtuvo una longitud de ejes principales de 0.350 y 0.102 para una variabilidad total de 1. Con la inclusión de todas las variables ambientales se pudo explicar un 54.5% de la variabilidad total en la composición y abundancia de biotipos, siendo las variables con mayor peso la concentración de Na ( $\lambda A=0.17$ ;  $F=3.28$ ;  $p=0.008$ ), la de carbonatos ( $\lambda A=0.13$ ;  $F=2.86$ ;  $p=0.028$ ), la temperatura media anual ( $\lambda A=0.11$ ;  $F=2.45$ ;  $p=0.048$ ), la precipitación ( $\lambda A=0.10$ ;  $F=2.63$ ;  $p=0.032$ ) y %PM ( $\lambda A=0.09$ ;  $F=3.87$ ;  $p=0.012$ ). En este caso el valor del primer eje ( $F=6.467$ ,  $p=0.008$ ) y el del total de ejes canónicos ( $F=2.872$ ,  $p=0.002$ ) también fueron estadísticamente significativos.

## Discusión

No se encontraron diferencias destacables en las características de las aguas que discurren por las acequias entre los diferentes sistemas de regadío estudiados. Solo es remarcable la mayor conductividad eléctrica encontrada en Alicún y Galera, probablemente por ser aguas termales las primeras y salinas las segundas ([Tabla 2](#)). En cualquier caso, la composición y abundancia de especies es completamente diferente entre ambos sistemas de regadío y tales diferencias vienen condicionadas en mayor medida por las características edáficas y/o climáticas.

En este sentido Gójar fue la localidad destacada por el mayor porcentaje de %MO en el suelo, así como por la mayor relación C:N. Este segundo parámetro está relacionado con los procesos de evolución de la materia orgánica: valores de C:N superiores a 10 indican humificación, mientras que valores inferiores indican que el proceso dominante es la mineralización ([Young 1976](#)). En Gójar el proceso dominante es la humificación. Uno de los motivos para los elevados valores de %MO en esta localidad puede ser el manejo ecológico que se realiza en la finca colindante, así como en la vegetación de la acequia. En las otras dos localidades con valores medios más elevados de %MO, que son Alicún y Jerez, esto podría



**Figura 4.** Diagrama de ordenación del análisis de redundancia (RDA) mostrando localidades, grupos funcionales (flechas negras) y variables ambientales significativas (flechas rojas). Los círculos representan las localidades: Nigüelas (azul), Vega (negro), Gójar (verde), Jerez (amarillo), Alicún (rosa), y Galera (rojo). Grupos funcionales: caméfitos (Ch), terófitos (Th), helófitos (He), hidrófitos (Hy), geófitos (G), nano y macrofanerófitos (NP y MP), y hemicriptófitos (H). Variables ambientales: sodio (Na), punto de marchitamiento (PM), temperatura ( $T^a$ ) y precipitación (Pp).

**Figure 4.** Ordination diagram of the redundancy analysis (RDA) showing localities, functional groups (black arrows) and significant environmental variables (red arrows). The circles represent the localities: Nigüelas (blue), Vega (black), Gójar (green), Jerez (yellow), Alicún (pink), and Galera (red). Functional groups: chamaephytes (Ch), therophytes (Th), helophytes (He), hydrophytes (Hy), geophytes (G), nano and macrophanerophytes (NP and MP), and hemicryptophytes (H). Environmental variables: sodium (Na), wilting point (PM), temperature ( $T^a$ ) and rainfall (Pp).

deberse al tipo de vegetación encontrada, como se explicará más adelante. Por otro lado, las localidades con valores medios de %MO menos elevados fueron la Vega y Galera, que (además de presentar una vegetación diferente) están ambas sometidas a un manejo más agresivo incluyendo quemadas anuales o mantenimiento del cauce de la acequia por medios mecánicos intensos. Este valor algo inferior de %MO en la Vega y Galera, podría quizás explicarse por la destrucción de la materia orgánica como efecto del fuego. Sin embargo, se sabe que el efecto de los incendios sobre el %MO varía con la intensidad del fuego, así, en incendios de baja intensidad hay un aumento de carbono en el suelo justo después del incendio y no se observa una disminución drástica de la materia orgánica en estos casos (Úbeda 2001). Es reseñable la diferencia del valor de %MO de los suelos obtenida entre Gójar y la Vega (Tabla 2), si bien en ambas el proceso predominante es la humificación. Estas dos localidades, geográficamente muy cercanas (con variables climáticas y de sustrato casi idénticas), se sitúan en cultivos completamente diferentes (olivar ecológico y hortícolas de alta producción, respectivamente), y podrían relacionarse las diferencias encontradas en niveles de %MO con las diferencias de manejo (ecológico vs. quemadas), y de vegetación predominante (gramíneas vs. apiáceas).

En Nigüelas, la dispersión de valores de %MO y de %CaCO<sub>3</sub> fue probablemente dada por la variabilidad de los materiales de origen: dolomías y esquistos arrastrados por el agua de la cabecera del río, combinados con calizas en otros tramos. En cuanto al proceso de evolución de la materia orgánica indicado por la relación C:N, predominó la mineralización en la cabecera y la humificación en la parte baja en esta localidad. El elevado %MO de la parte final

de la acequia de Nigüelas (6.71%) también podría estar relacionado con el alto %CaCO<sub>3</sub> en el mismo punto (72.58%). Según Fernández-Ugalde et al. (2009), la presencia de carbonatos puede ejercer un efecto sobre el carbono orgánico del suelo mejorando la agregación y bloqueando la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo en Alicún, localidad con muy alto %CaCO<sub>3</sub>, y también de %MO, el proceso predominante de evolución de la materia orgánica indicado por la relación C:N fue la mineralización, en parte debido a unos remarcables niveles de N en el suelo. La segunda localidad con el contenido medio más alto de %CaCO<sub>3</sub> después de Alicún fue Galera. Se ha descrito que el %CaCO<sub>3</sub> en el suelo puede aumentar después de tratamientos con fuego, debido a la gran cantidad de calor liberado que junto con la combustión de la materia orgánica promueve la formación de calcita (Inbar et al. 2014). En el estudio de los efectos del tratamiento con quemadas en acequias por Sánchez Martín et al. (2018) se observó, coincidiendo con los resultados de Galera, que los fuegos de baja intensidad aumentan el pH y el % CaCO<sub>3</sub> del suelo. No obstante, se trata de cambios de pequeña magnitud, por tanto no se considera que el tratamiento con fuego modifique las propiedades del suelo, como también revela el estudio de Molina y Llinares (2000), por lo que el alto contenido de CaCO<sub>3</sub> en Galera estaría relacionado con el material litológico original.

Las altas cantidades de Mg<sup>2+</sup> en Galera y Nigüelas revelaron sustratos de origen que incluían yesos y dolomías, respectivamente, además de materiales calizos que se encontraron en todas las localidades. La textura más equilibrada se encontró en Gójar (textura franca). La textura más arenosa, en Alicún, condicionó la capacidad de retención de agua, obteniéndose el %AU más bajo



en esta localidad (Tabla 2). Por otro lado en Galera se registró la textura más arcillosa, obteniéndose por tanto un valor muy alto de %AU, y un elevado %PM que se diferenció significativamente de las localidades con menor contenido de arcilla, Nigüelas y la Vega. También puede atribuirse a la textura arcillosa el alto valor de CIC (17.17 Cmol (+)/Kg) que se obtuvo en Galera (Somani 1983).

En cuanto a las relaciones suelo-planta, se halló en primer lugar que las tres localidades con mayor %MO (Gójar, Alicún y Jérez) también fueron aquellas en que la especie dominante fue una herbácea perenne de la familia de las gramíneas (*Brachypodium phoenicoides* y *Piptatherum miliaceum*). Las dos vías principales de incorporación del carbono orgánico (CO) en el suelo (raíces y exudados) provienen directamente de la vegetación (Rumpel y Kögel-Knabner 2011). Las raíces contribuyen por rizodeposición (Wilts et al. 2004) y con un tiempo de residencia del carbono en el suelo mayor del tejido de raíces que el de tallos (Rasse et al. 2005). Las gramíneas, en especial las perennes, al poseer un sistema de raíces fasciculadas con una alta tasa de renovación ("turnover") son capaces de aportar grandes cantidades de materia orgánica a los suelos (más que otras familias) aumentando el CO y el N, y con ello fomentando la microbiología y la complejidad de la red trófica del suelo (Conant et al. 2001; Potthoff et al. 2005; Jackson et al. 2007; Blanco-Caqui et al. 2014). De hecho, estas localidades con predominio de gramíneas fueron las que presentaron mayores concentraciones de N en el suelo. El porcentaje de N fue especialmente alto en Alicún, en el tercer punto de muestreo (N=0.34%), donde podría deberse al aporte de partes orgánicas como restos de raíces y hojas de la gramínea dominante en este punto (Boddey 1987). Por otro lado, la primera muestra de Alicún, tomada próxima a la salida del manantial termal, tuvo una concentración aún más alta (N=0.52%), aquí posiblemente relacionada con las temperaturas elevadas del agua que puede albergar cianobacterias fijadoras del nitrógeno en ambientes de baja tensión de O<sub>2</sub> (Fogg 1951). Las otras dos localidades en que la especie dominante fue una gramínea, Jérez y Gójar, también presentaron niveles de nitrógeno en el suelo algo más altos (0.20% y 0.19% respectivamente) que en las localidades donde la especie más abundante fue una apiácea, Nigüelas y la Vega (0.18% y 0.15% respectivamente). En Galera, la alta concentración de N en el suelo (0.22%), sería debida a la abundancia de *Phragmites australis* (carrizo), gramínea que sólo se encontró en esta localidad. Se ha comprobado que el crecimiento de esta especie aumenta la abundancia de bacterias nitrificantes y del ciclo del nitrógeno (Pérez-Peláez et al. 2011). Alicún, Jérez y Galera fueron las localidades con predominio del proceso de mineralización de acuerdo al cociente C:N.

Con los resultados de cobertura vegetal obtenidos cercanos al 100%, y partiendo de que la deposición de materia orgánica afecta a las reservas de CO en el suelo, se puede afirmar que las acequias contribuyen positivamente al secuestro de carbono. Young-Matthews et al. (2010) comprueban en su estudio en sistemas similares, que estos contienen más carbono secuestrado con respecto al medio agrícola adyacente, simplemente por la parte que es retenida en la propia vegetación. En otro estudio (Zhou et al. 2012), la cantidad del carbono orgánico secuestrado en el suelo fue mayor en los ecosistemas de pastizales y herbazales que en los de matorral, debido a la dominancia de gramíneas, especialmente perennes, que como ya se ha comentado y tal y como ocurre en nuestro caso, favorecen la incorporación de carbono al suelo.

En Galera y la Vega, localidades tratadas con quemadas anuales, se obtuvieron los valores más altos de abundancia de especies, y los siguientes valores más altos en riqueza e índice de diversidad de especies (después de Jérez). Se ha observado que uno de los efectos del manejo realizado en las acequias es el aumento de diferentes variables de diversidad vegetal, observándose un efecto más patente por el tratamiento con quemadas que con el desbroce mecanizado (Sánchez Martín et al. 2018). En otros sistemas de vegetación herbácea, se ha observado el aumento de la abundancia total de individuos por reducción de la competencia en la comunidad vegetal, abriendo nicho ecológico para otras especies, así, se

promueve el establecimiento de especies de estadios más tempranos, o más tardíos, en la sucesión vegetal al mismo tiempo, mejorando la biodiversidad vegetal de la comunidad herbácea (García Guerra 2011). En la acequia de la Vega, donde se obtuvo una abundancia total de especies mucho mayor que en la vecina localidad de Gójar, la diferencia pudo deberse precisamente a las distintas prácticas de manejo aplicadas (quemadas vs. manejo ligero), y posiblemente por la mayor abundancia y frecuencia del agua en el cauce de la acequia de la Vega, variable que desafortunadamente no fue controlada en este estudio.

También es visible la similitud entre las comunidades vegetales de Galera y la Vega en el CCA (Fig. 3), donde parte de la ordenación de las especies de estas localidades parece atender al vector del %AU, correspondiéndose con texturas arcillosas y limosas. Por otro lado, puede observarse en el CCA, siguiendo la correlación inversa entre %CaCO<sub>3</sub> e índice de diversidad, que Jérez es la localidad más biodiversa, ordenándose en sentido opuesto al vector de CaCO<sub>3</sub>. Esto podría deberse a que los suelos ricos en carbonato cálcico no plantean problemas de nutrición a las plantas, por lo que en sistemas como las acequias, pueden resultar en comunidades más homogéneas dominadas por las especies más competitivas en cuanto a sistemas radicales, para captación de hierro, etc. (Casas Flores 2012); encontrándose comunidades más diversas en aquellos lugares donde hay algún factor limitante, bien de sustrato o del manejo, que reduzca los niveles de competencia.

La escala temporal durante la cual estos factores han estado presentes influyendo sobre la diversidad del sistema también es relevante. Estudios en comunidades herbáceas mostraron un aumento de la beta-diversidad (entre parcelas) a lo largo de décadas, relacionándose con las distintas formas de manejo aplicadas en cada una (Homburger y Hofer 2012). Las diferenciaciones en la composición pueden ir ocurriendo dependiendo de cómo se recupera la sucesión tras la alteración provocada por el manejo, disponibilidad de propágulos, etc. (Tansley 1939), dado que se trata de sucesiones ecológicas dinámicas. El tiempo también es importante en las características del suelo relacionadas con la vegetación, así el carbono orgánico puede tardar décadas en acumularse y disminuir en solo unos años (Baer et al. 2002).

Otro factor a tener en cuenta en futuros estudios de estos sistemas es el caudal y la frecuencia del agua en la acequia. Esto podría explicar por qué en Jérez el grupo funcional más abundante fueron los terófitos (como en la flora típica de la región) y no hemicriptófitos (como en el resto de localidades y sistemas riparios), pues en esta localidad el paso de agua es menos frecuente que en las demás, dominando las especies climácicas más que las riparias.

Se puede observar en el RDA (Fig. 4), la dirección opuesta de las flechas que representan la abundancia de terófitos (Abund Th) y los carbonatos del suelo, de la misma manera que con la diversidad de especies y los carbonatos en esta localidad. En cuanto a la concentración de Na<sup>+</sup> (gradiente de salinidad) como variable de más peso en la ordenación de los grupos funcionales, este resultado se pudo dar por el hecho de que el punto de muestreo con mayor concentración de Na<sup>+</sup> (en Galera) fuera también el punto con las únicas dos especies helófitas (*Phragmites australis* y *Veronica anagallis-aquatica*) y una hidrófita (*Apium nodiflorum*) del total de las 100 especies muestreadas (Tabla 3). A parte de este hallazgo puntual, no se explica la distribución de estos dos grupos funcionales según el Na<sup>+</sup>; al contrario, otros trabajos han resaltado que los grupos funcionales que se correlacionan con factores de salinidad son caméfitos y hemicriptófitos (e.g. Salama et al. 2018).

Entre los resultados de los muestreos de flora (Tabla 3), se halló en Jérez una especie indicadora de buena calidad de ecosistemas riparios, *Cynosurus echinatus* (Young-Matthews et al. 2010). Otras especies con importancia agroeconómica o cultural encontradas en los inventarios fueron *Ficus carica*, *Mentha longifolia* y *M. suaveolens*, *Vitis vinifera*, *Hedera helix*, y los géneros *Salix* sp. y *Urtica* sp.; y los siguientes parientes silvestres de cultivos: *Apium nodiflorum*, *Asparagus acutifolius*, *Avena barbata*, *Lactuca serriola*, *Lathyrus angulatus*, *Lolium rigidum* y *Vicia dasycarpa* (emparentados con

apio, espárrago, avena, lechuga, almorta, centeno y habichuela). La conservación de este tipo de diversidad (parientes silvestres de cultivos y razas locales) es fundamental para poder utilizar toda la gama de la agrobiodiversidad, y posibilitar así la mejora de los cultivos y la seguridad alimentaria en condiciones adversas (Maxted et al. 2016).

## Conclusiones

En este estudio se muestra que los sistemas de acequias tradicionales son un reservorio importante de diversidad en entornos agrarios, lo cual es esencial para el mantenimiento de las redes tróficas y por tanto la provisión de servicios ecosistémicos, en especial los ligados a la actividad agrícola. Son también un reservorio de especies parientes de cultivos silvestres, claves para garantizar la seguridad alimentaria. Por tanto, y sin olvidar su carácter conector entre los cada vez más fragmentados sistemas agrarios, las acequias se pueden considerar infraestructuras verdes esenciales para contribuir a la resiliencia ambiental de los paisajes agrícolas frente a los retos actuales y futuros de cambio climático y pérdidas de biodiversidad. Valorar cuantitativamente los beneficios ambientales que este tipo de infraestructuras prestan a la actividad productiva es por tanto fundamental para su reconocimiento; conservación y valoración por parte de la sociedad.

## Referencias

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2013. Agroecología y resiliencia al cambio climático: principios y consideraciones metodológicas. *Agroecología* 8(1): 7-20.
- Baer, S.G., Kitchen, D.J., Blair, J.M., Rice, C.W. 2002. Changes in ecosystem structure and function along a chronosequence of restored grasslands. *Ecological Applications* 12(6): 1688-1701.
- Bascomb, C.L. 1961. A calcimeter for routine use on soil samples. *Chemistry and Industry* 45: 1826-1827.
- Blanca, G., Cabezudo, B., Cueto, M., Fernández López, C., Morales Torres, C. 2009. *Flora Vascular de Andalucía Oriental*. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Blanco-Canqui, H., Gilley, J.E., Eisenhauer, D.E., Jasa, P.J., Boldt, A. 2014. Soil carbon accumulation under switchgrass barriers. *Agronomy Journal* 106: 2185-2192.
- Boddey, R.M. 1987. Methods for quantification of nitrogen fixation associated with gramineae. CRC Critical Reviews. *Plant Science* 6: 209-266.
- Bommarco, R., Kleijn, D., Potts, S.G. 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. *Trends in Ecology and Evolution* 28(4): 230-238.
- Bullock, J. 2006. Plants. En: Sutherland, W.J. (Ed.), *Ecological Census Techniques: a Hand Book*. pp.111-138. Cambridge University Press, Nueva York, Estados Unidos.
- Casas Flores, R. 2012. *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Paraninfo, Madrid, España.
- Chalmers, N., Parker, P. 1989. *The OU project guide: fieldwork and statistics for ecological projects*. Field Studies Council, Dorchester, Reino Unido.
- Comisión Europea. 2014. *Construir una infraestructura verde para Europa*. Folleto de la Comisión Europea, Medio Ambiente, Bélgica.
- Conant, R.T., Paustian, K., Elliot, E.T. 2001. Grassland management and conversion into grassland: effects on soil carbon. *Ecological Applications* 11: 343-355.
- EEA 2004. *High Nature Value Farmland. Characteristics, Trends and Policy Challenges*. European Environmental Agency, Copenhagen. Dinamarca.
- FAO 1998. World Reference Base for Soil Resources. *World Soil Resources Reports 84*. ISSS-ISRIC-FAO, Roma, Italia.
- FAO 2019. *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. J. Bélanger, J. Pilling, D. (eds.). FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments. Roma, Italia. 572 pp.
- Fernald, A.G., Baker, T.T., Guldan, S.J. 2007. Hydrologic, riparian, and agroecosystem functions of traditional acequia irrigation systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 30(2): 147-171.
- Fernández-Ugalde, O., Virto, I., Bescansa, P., Imaz, M.J., Enrique, A., Karlen, D.L. 2009. No-tillage improvement of soil physical quality in calcareous, degradation-prone, semiarid soils. *Soil and Tillage Research* 106(1): 29-35.
- Fleming, W.M., Rivera, J.A., Miller, A., Piccarello, M. 2014. Ecosystem services of traditional irrigation systems in northern New Mexico, USA. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services and Management* 10(4): 343-350.
- Fogg, G.E. 1951. Studies on nitrogen fixation by blue-green algae. II. Nitrogen fixation by *Mastigocladus laminosus* Cohn. *Journal of Experimental Botany* 2(1): 117-120.
- García Guerra, J.M. 2011. Respuestas a distintos tipos de manejo de la vegetación herbácea asociada a pinares de pino piñonero (*Pinus pinea*). *Pastos* 28(2): 217-236.
- Guzmán, J.R., Navarro Cerrillo, R.M. 2010. *El agua domesticada. Los paisajes de los regadíos de montaña en Andalucía*. Agencia Andaluza del Agua, Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Sevilla, España.
- Homburger, H., Hofer, G. 2012. Diversity change of mountain hay meadows in the Swiss Alps. *Basic and applied technology* 13(2): 132-138.
- Inbar, A., Lado, M., Sternberg, M., Tenau, H., Ben-Hur, M. 2014. Forest fire effects on soil chemical and physicochemical properties, infiltration, runoff, and erosion in a semiarid Mediterranean region. *Geoderma* 221: 131-138.
- Jackson, L.E., Potthoff, M., Steenwerth, K.L., O'Geen, A.T., Stromberg, M.R., Scow, K.M. 2007. Soil biology and carbon sequestration in grasslands. En: Corbin, J., D'Antonio, C., Stromberg, M.R. (eds.), *California grasslands: ecology and management*, pp. 107-118. University of California Press, Berkeley, CA, Estados Unidos.
- Lepš, J., Šmilauer, P. 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, Nueva York, Estados Unidos.
- López-Pomares, A., López-Iborra, G.M., Martín-Cantarino, C. 2015. Irrigation canals in a semi-arid agricultural landscape surrounded by wetlands: their role as a habitat for birds during the breeding season. *Journal of Arid Environments* 118: 28-36.
- Macfadyen, S., Tylianakis, J.M., Letourneau, D.K., Benton, T.G., Tittone, P., Perring, M.P., et al. 2015. The role of food retailers in improving resilience in global food supply. *Global Food Security* 7: 1-8.
- Magurran, E.A. 1988. *Ecological Diversity and its Measurement*. Princeton University Press, Princeton, NJ, Estados Unidos.
- Maxted, N., Dulloo, M.E., Ford-Lloyd, B.V. 2016. *Enhancing Crop Gene Pool Use: Capturing Wild Relative and Landrace Diversity for Crop Improvement*. CAB International, Wallingford, Reino Unido.
- Molina, M., Linares, J. 2000. Comportamiento del fuego, intensidad y efectos sobre el suelo en quemadas controladas de matorral valenciano en verano y en otoño. *Cuadernos de la S.E.C.F.* 9: 155-161.
- Naciones Unidas/United Nations 2017. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Population Prospects: The 2017 Revision, Data Booklet*. ST/ESA/SER.A/401.
- Peña, D.G. 1999. Cultural landscapes and biodiversity: the ethnoecology of an upper Rio Grande watershed commons. En: Nazarea, V.D. (Ed.), *Ethnoecology: situated knowledge, located lives*, pp. 107-132. University of Arizona Press, Tucson, AZ, Estados Unidos.
- Pérez-Peláez, N.R., Peña-Varón, M.R., Sanabria, J. 2011. Comunidades bacterianas involucradas en el ciclo del nitrógeno en humedales construidos. *Ingeniería y Competitividad* 11(2): 83-92.
- Pothoff, M., Jackson, L.E., Steenwerth, K.L., Ramirez, I., Stromberg, M.R., Rolston, D.E. 2005. Soil biological and chemical properties in restored perennial grassland in California. *Restoration Ecology* 13: 61-73.
- Rasse, D.P., Rumpel, C., Dignac, M.-F. 2005. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilisation. *Plant and Soil* 269(1-2): 341-356.
- Raheem, N., Archambault, S., Arellano, E., Gonzales, M., Kopp, D., Rivera, J., Colt, S. 2015. A framework for assessing ecosystem services in acequia irrigation communities of the Upper Rio Grande watershed. *WIREs Water* 2(5): 559-575.
- Raunkiaer, C. 1934. *The life forms of plants and statistical plant geography, being the collected papers of C. Raunkiaer*. Clarendon Press, Oxford, Reino Unido.
- REDIAM 2015. Rediam descargas de información virtual [consultado en mayo 2015]. Disponible en: <http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/site/rediam>.
- Rockström, J., Williams, J., Daily, G., Noble, A., Matthews, N., Gordon, L., Wetterstrand, H., et al. 2017. Sustainable intensification of agriculture for human prosperity and global sustainability. *Ambio* 46(1): 4-17.
- Rumpel, C., Kögel-Knabner, I. 2011. Deep soil organic matter—a key but poorly understood component of terrestrial C cycle. *Plant and Soil* 338(1-2): 143-158.

- Salama, F.M., El-Ghani, M.M., El-Tayeh, N.A., Galal, H.K., El-Naggar, S. 2018. Vegetation Analysis and Species Distribution in the Lower Tributaries of Wadi Qena in the Eastern Desert of Egypt. *Jordan Journal of Biological Sciences* 11(4): 407-418.
- Sánchez Martín, R., Jiménez, M.N., Navarro, F.B. 2018. Effects of vegetation management on plant diversity in traditional irrigation systems. *Journal of Environmental Management* 223(2018): 396-402.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S.E., Fetzer, I., Bennett, E.M., Biggs, R., et al. 2015. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science* 347(6223): 736-746.
- Soil Conservation Service 1972. Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples. *USDA-SCS. Soil Survey Investigations Report No. 1*. U.S. Govt. Print. Office, Washington, Estados Unidos.
- Somani, L. 1983. The computation of the cation exchange capacity of soils from clay and organic matter content. *Anales de edafología y agrobiología* 42(3/4): 463-470.
- Tansley, A.G. 1939. *The British Island and their vegetation*. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.
- Tittonell, P. 2014. Ecological intensification of agriculture — sustainable by nature. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 8: 53-61.
- Tompkins, E.L., Adger, W.N. 2004. Does Adaptive Management of Natural Resources Enhance Resilience to Climate Change? *Ecology and Society* 9(2): 10.
- Tyurin, I.V. 1951. *Analytical procedure for a comparative study of soil humus*. Trudy Pochr. Inst. Dokuchaev, Moscú, Rusia.
- Úbeda, X. 2001. Influencia de la intensidad de quemado sobre algunas propiedades del suelo después de un incendio forestal. *Edafología* 8: 41-49.
- Wilts, A.R., Reicosky, D.C., Allmaras, R.R., Clapp, C.E. 2004. Long-term corn residue effects: harvest alternatives, soil carbon turnover, and root-derived carbon. *Soil Science Society of America Journal* 68(4): 1342-1351.
- Young, A. 1976. *Tropical soils and soil survey*. Cambridge University Press, Nueva York, Estados Unidos.
- Young-Mathews, A., Culman, S.W., Sánchez-Moreno, S., O'Geen, A.T., Ferris, H., Hollander, A.D. 2010. Plant-soil biodiversity relationships and nutrient retention in agricultural riparian zones of the Sacramento Valley, California. *Agroforestry Systems* 80(1): 41-60.
- Zhou, Y., Pei, Z., Su, Z., Zhang, J., Zheng, Y., Ni, J., Xiao, C., Wang, R. 2012. Comparing Soil Organic Carbon Dynamics in Perennial Grasses and Shrubs in a Saline-Alkaline Arid Region, Northwestern China. *PLoS ONE* 7(8): e42927:1-9.